

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:24:58

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Атомное строение фаз

Закреплена за подразделением

Кафедра физического материаловедения

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 68

самостоятельная работа 40

часов на контроль 36

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 7

### Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр на<br>курсе>) | 7 (4.1)      |     | Итого |     |
|---|--------------|-----|-------|-----|
|   | Неделя<br>18 |     |       |     |
| Вид занятий                               | УП           | РП  | УП    | РП  |
| Лекции                                    | 34           | 34  | 34    | 34  |
| Практические                              | 34           | 34  | 34    | 34  |
| Итого ауд.                                | 68           | 68  | 68    | 68  |
| Контактная работа                         | 68           | 68  | 68    | 68  |
| Сам. работа                               | 40           | 40  | 40    | 40  |
| Часы на контроль                          | 36           | 36  | 36    | 36  |
| Итого                                     | 144          | 144 | 144   | 144 |

Программу составил(и):

*ктн, доцент, Щетинин Игорь Викторович*

Рабочая программа

**Атомное строение фаз**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра физического материаловедения**

Протокол от 11.04.2022 г., №8-04

Руководитель подразделения Савченко Александр Григорьевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

|     |  |
|-----|--|
| 1.1 | Цель освоения дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также изучение и использование закономерностей атомного строения и электронной структуры фаз в конденсированном состоянии для анализа и прогнозирования химического взаимодействия компонентов, устойчивости конденсированных фаз в конденсированном состоянии, а также их физических и механических свойств. |
|-----|--|

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

| Блок ОП:   |  | Б1.В.ДВ.14 |
|------------|--|------------|
| <b>2.1</b> | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>   |            |
| 2.1.1      | Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы   |            |
| 2.1.2      | Защита интеллектуальной собственности и патентоведение   |            |
| 2.1.3      | Коррозия и защита металлов   |            |
| 2.1.4      | Материаловедение   |            |
| 2.1.5      | Материаловедение полупроводников и диэлектриков  |            |
| 2.1.6      | Металловедение инновационных материалов  |            |
| 2.1.7      | Методы исследования материалов   |            |
| 2.1.8      | Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии                     |            |
| 2.1.9      | Метрология и технические измерения функциональных материалов   |            |
| 2.1.10     | Метрология, стандартизация и технические измерения   |            |
| 2.1.11     | Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике                                     |            |
| 2.1.12     | Основы материаловедения и методов исследования материалов  |            |
| 2.1.13     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности |            |
| 2.1.14     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности |            |
| 2.1.15     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности |            |
| 2.1.16     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности |            |
| 2.1.17     | Разработка новых материалов  |            |
| 2.1.18     | Технология функциональных материалов   |            |
| 2.1.19     | Фазовые равновесия и дефекты структуры   |            |
| 2.1.20     | Физика диэлектриков  |            |
| 2.1.21     | Физика металлов  |            |
| 2.1.22     | Физика полупроводников   |            |
| 2.1.23     | Введение в квантовую теорию твердого тела  |            |
| 2.1.24     | Дефекты кристаллической решетки  |            |
| 2.1.25     | Компьютеризация эксперимента   |            |
| 2.1.26     | Планирование и организация научно-исследовательской работы   |            |
| 2.1.27     | Планирование научного эксперимента   |            |
| 2.1.28     | Теория поверхностных явлений   |            |
| 2.1.29     | Теория симметрии   |            |
| 2.1.30     | Электроника  |            |
| 2.1.31     | Введение в квантовую механику  |            |
| 2.1.32     | Кристаллография  |            |
| 2.1.33     | Математическая статистика и анализ данных  |            |
| 2.1.34     | Методы математической физики   |            |
| 2.1.35     | Основы дизайна металлических материалов  |            |
| 2.1.36     | Основы квантовой механики  |            |
| 2.1.37     | Практическая кристаллография   |            |
| 2.1.38     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений                                      |            |
| 2.1.39     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений                                      |            |
| 2.1.40     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений                                      |            |
| 2.1.41     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений                                      |            |
| 2.1.42     | Физика   |            |
| 2.1.43     | Физическая химия   |            |
| 2.1.44     | Электротехника   |            |

|            |   |
|------------|---|
| 2.1.45     | Математика  |
| 2.1.46     | Органическая химия  |
| 2.1.47     | Информатика   |
| 2.1.48     | Химия   |
| 2.1.49     | Инженерная и компьютерная графика   |
| <b>2.2</b> | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |
| 2.2.1      | Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ  |
| 2.2.2      | Высокотемпературные материалы   |
| 2.2.3      | Композиционные и керамические материалы   |
| 2.2.4      | Композиционные материалы  |
| 2.2.5      | Компьютерное моделирование материалов и процессов   |
| 2.2.6      | Компьютерное моделирование процессов получения материалов   |
| 2.2.7      | Математические методы моделирования физических процессов  |
| 2.2.8      | Металловедение сварки   |
| 2.2.9      | Методы исследования структур и материалов. Часть 2  |
| 2.2.10     | Наноматериалы   |
| 2.2.11     | Объемные наноматериалы  |
| 2.2.12     | Основы магнетизма. Часть 2. Процессы перемагничивания материалов  |
| 2.2.13     | Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия  |
| 2.2.14     | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |
| 2.2.15     | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |
| 2.2.16     | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |
| 2.2.17     | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |
| 2.2.18     | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы   |
| 2.2.19     | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы   |
| 2.2.20     | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы   |
| 2.2.21     | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы   |
| 2.2.22     | Спектрофотометрические методы оценки качества кристаллов  |
| 2.2.23     | Специальные сплавы  |
| 2.2.24     | Структура и свойства функциональных наноматериалов  |
| 2.2.25     | Технология термической обработки  |
| 2.2.26     | Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы                 |
| 2.2.27     | Функциональные материалы электроники  |
| 2.2.28     | Экстремальные технологии получения наноматериалов   |

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

**ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований**

**Знать:**

ПК-1-32 основные методы экспериментальных исследований структуры

ПК-1-31 влияние различных факторов на структуру и уровень свойств твердых тел;

**ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания**

**Знать:**

ОПК-1-31 основные законы и явления, объясняющие закономерности фазовых превращений;

**ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований**

**Уметь:**

ПК-1-У1 анализировать информацию о фазовых превращениях;

**ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания**

|  |
|--|
| <b>Уметь:</b>  |
| ОПК-1-У2 исследовать макро- и микроструктуру;  |
| ОПК-1-У1 решать задачи профессиональной деятельности при выполнении структурных исследований;  |
| <b>ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований</b>   |
| <b>Владеть:</b>  |
| ПК-1-В1 навыками давать оценку вклада различных факторов в формирование структуры;   |
| <b>ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания</b> |
| <b>Владеть:</b>  |
| ОПК-1-В1 опытом практического применения методов и обработки и анализа экспериментальной информации о структуре;   |
| ОПК-1-В2 опытом анализа фазовых превращений в металлах и сплавах;  |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/  | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций           | Литература и эл. ресурсы      | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|--|----------------|-------|--|-------------------------------|------------|----|--------------------|
|             | <b>Раздел 1. Классификация конденсированных сред. Электронная структура конденсированных фаз. Кристаллическая структура элементов и твердых растворов</b>  |                |       |  |                               |            |    |                    |
| 1.1         | Классификация конденсированных состояний неорганических веществ по типу химической связи и атомной структуре. Ионные кристаллы. Металлическое состояние вещества. Электронная структура конденсированных фаз. Энергетический спектр электронов, поверхность Ферми, обратное пространство, зоны Бриллюэна. Кристаллическая структура чистых элементов. Атомная структура углерода. Фуллерены. Структура В-элементов II-V групп, правило «8-N». Полиморфизм. /Лек/ | 7              | 2     | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-У1 | Л1.1<br>Л1.2Л2.4Л3.<br>1      |            |    |                    |
| 1.2         | Кристаллическая структура твердых растворов. Термодинамическое описание. Энергия смещения и анализ диаграмм состояния. Теория ограниченной растворимости элементов II-V групп в металлах группы меди. Теория Джонса-Конобеевского. /Лек/   | 7              | 2     | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-У1 | Л1.1<br>Л1.2Л2.1<br>Л2.3 Л2.4 |            |    |                    |

|     |   |   |    |  |  |  |  |  |
|-----|---|---|----|--|--|--|--|--|
| 1.3 | Атомное упорядочение. Сверхструктуры на основе ГЦК и ОЦК решеток. Дальний и ближний порядок. Температурная зависимость степени порядка. /Лек/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК<br>-1-32 ПК-1-У1             | Л1.1<br>Л1.2Л2.1                       |  |  |  |
| 1.4 | Расчет энергии Маделунга. Системы атомных, ионных и ковалентных радиусов. Оценка преобладающего характера химической связи /Пр/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК<br>-1-У1                     | Л3.1Л2.4                               |  |  |  |
| 1.5 | Концентрационные зависимости периодов решетки твердых растворов. Определение типа твердого раствора /Пр/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК<br>-1-31 ПК-1-У1             | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                       |  |  |  |
| 1.6 | Расчеты энергии смещения и анализ диаграмм состояния /Пр/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК<br>-1-У1                     | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                       |  |  |  |
| 1.7 | Основные типы сверхструктур /Пр/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1 Л1.2<br>Л3.1Л2.4                  |  |  |  |
| 1.8 | Расчеты степени дальнего порядка в сплаве Ni3Mn после нейтронного облучения /Пр/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-У1         | Л1.1 Л1.1<br>Л1.2Л2.4                  |  |  |  |
| 1.9 | Домашнее задание №1: Твердые растворы /Ср/  | 7 | 10 | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-У1 ПК-1-В1 | Л1.1 Л1.1<br>Л1.2<br>Л3.1Л2.4<br>Э1 Э2 |  |  |  |
|     | <b>Раздел 2. Атомная структура промежуточных фаз с металлической, ковалентной и ионной связью</b>   |   |    |  |  |  |  |  |
| 2.1 | Металлические соединения, их классификация. Фактор электронной концентрации и его проявление в фазах Юм-Розери и соединениях В-элементов. Условия образования /Лек/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК<br>-1-31 ПК-1-У1             | Л1.1<br>Л1.2Л2.1<br>Л2.3 Л2.4          |  |  |  |
| 2.2 | Принцип плотной упаковки и его реализация в структурах металлических соединений. Тетраэдрические плотноупакованные фазы. Фазы со структурой типа $\sigma$ -FeCr и родственные им фазы Фазы Лавеса и родственные им соединения /Лек/ | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                       |  |  |  |
| 2.3 | Фазы с решеткой типа NiAs и родственные им соединения. Полупроводники с алмазоподобной решеткой. Ионные кристаллы. Соединения металлов с неметаллами. Фазы внедрения /Лек/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК<br>-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1Л2.4Л3.<br>2                       |  |  |  |

|   |   |   |    |  |                                    |  |  |    |
|---|---|---|----|--|------------------------------------|--|--|----|
| 2.4   | Кристаллические структуры конденсированных фаз (работа с моделями). Интерметаллические фазы /Пр/  | 7 | 4  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-1-31 ПК-1-У1     | Л1.1 Л1.2<br>Л3.1Л2.4Л3.2          |  |  |    |
| 2.5   | Соединения металлов с неметаллами (работа с моделями) /Пр/  | 7 | 4  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-1-У1             | Л1.1 Л1.2<br>Л3.1Л2.1              |  |  |    |
| 2.6   | Домашнее задание №2: Промежуточные фазы /Ср/  | 7 | 10 | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-1-У1 ПК-1-В1     | Л1.1 Л1.2<br>Л3.1Л2.4Л3.2<br>Э1 Э2 |  |  | Р2 |
| <b>Раздел 3. Структура расплавов и твердых аморфных тел, квазикристаллы и нанокристаллическое состояние твердых тел</b> |   |   |    |  |                                    |  |  |    |
| 3.1   | Структура расплавленных металлов и сплавов. Аморфное состояние /Лек/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-У1                         | Л1.1<br>Л1.2Л1.1                   |  |  |    |
| 3.2   | Квазикристаллические фазы. Атомная структура, морфология и некоторые свойства высокодисперсных частиц и тонких пленок. Нанокристаллическое состояние /Лек/    | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-1-31 ПК-1-У1     | Л1.1Л2.4                           |  |  |    |
| 3.3   | Кристаллизация как фазовый переход I-го рода. Кристаллизация чистых веществ. Термодинамика, кинетика, механизмы зарождения и роста кристаллов /Лек/           | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-У1 ПК-1-В1                 | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4           |  |  |    |
| 3.4   | Особенности кристаллизации расплавов. Затвердевание при высоких скоростях охлаждения /Лек/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1         | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                   |  |  |    |
| 3.5   | Кинетика кристаллизации. Анализ уравнения Колмогорова-Авраами /Пр/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-1-В1     | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                   |  |  |    |
| <b>Раздел 4. Атомные механизмы фазовых превращений в конденсированных системах. Диффузионные превращения</b>            |   |   |    |  |                                    |  |  |    |
| 4.1   | Диффузия в твердых телах и дефекты решетки. Диффузия в реальных растворах. Гетеродиффузия. Реактивная диффузия. Аномалии диффузии. Диффузия в жидкостях /Лек/ | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-У1                         | Л1.1<br>Л1.2Л2.4                   |  |  |    |
| 4.2   | Классификация фазовых превращений в твердом состоянии. Роль упругой и поверхностной энергии в формировании микроструктуры /Лек/                               | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1 | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4Л3.2       |  |  |    |

|      |  |   |    |  |  |  |     |  |
|------|--|---|----|--|--|--|-----|--|
| 4.3  | Аллотропические превращения в чистых металлах. Превращения в железе и сталях: термодинамика, кинетика, механизмы /Лек/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-32 ПК-1-У1   | Л1.1<br>Л1.2Л2.4Л3.2                                       |  |     |  |
| 4.4  | Массивное превращение, термодинамика, кинетика, условия его протекания. Особенности мартенситного превращения. Кристаллографическая теория мартенситных превращений в сталях /Лек/ | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1   | Л1.1<br>Л1.2Л2.4Л3.2                                       |  |     |  |
| 4.5  | Превращения в титане и твердых растворах на его основе, образование омега-фазы. Мартенситные превращения в промежуточных фазах /Лек/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1                                     | Л1.1<br>Л1.2Л2.3<br>Л2.4Л3.2                               |  |     |  |
| 4.6  | Непрерывное и прерывистое превращения. Стадии диффузионного превращения. Распад пересыщенных твердых растворов. Типы распада, стадии распада, влияние пересыщения /Лек/            | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1   | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4                                   |  |     |  |
| 4.7  | Спинодальный распад. Влияние дефектов решетки на старение сплавов. Возврат при старении. Превращения в мартенсите при отпуске стали /Лек/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1   | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4                                   |  |     |  |
| 4.8  | Решение задач по диффузии /Пр/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-У1   | Л1.1 Л1.2  |  |     |  |
| 4.9  | Аллотропические превращения в металлах. Кристалл-геометрический анализ полиморфных превращений в Fe, Co /Пр/   | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-1-В1   | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4Л3.2                               |  |     |  |
| 4.10 | Анализ ориентационных соотношений и морфологий выделений /Пр/  | 7 | 4  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1 ПК-1-У1 ПК-1-В1   | Л1.1<br>Л1.2Л1.1   |  |     |  |
| 4.11 | Кинетика полиморфного превращения в сталях /Пр/  | 7 | 2  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-32 ПК-1-У1                 | Л1.1<br>Л1.2Л1.1   |  |     |  |
| 4.12 | Кинетика процессов распада твердых растворов. Процессы аморфизации и кристаллизации аморфных сплавов /Пр/  | 7 | 4  | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-32 ПК-1-У1                             | Л1.1<br>Л1.2Л1.1<br>Л2.4                                   |  |     |  |
| 4.13 | экзамен по курсу /Ср/  | 7 | 20 | ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 | Л1.1 Л1.1<br>Л1.2Л2.1<br>Л2.3<br>Л2.4Л3.1<br>Л3.2<br>Э1 Э2 |  | КМ1 |  |



## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций   | Вопросы для подготовки  |
|--------|-------------------------|--|---|
| КМ1    | экзамен                 | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1 | <p>1. Приведите основные положения теории Джонса-Конобеевского для оценки электронной концентрации в твердых растворах. Рассчитайте максимальную концентрацию электронов (N, эл/яч и n, эл/ат) в кри-сталле с ГЦК (ОЦК, примитивной кубической) решеткой.</p> <p>2. Получите выражение для внутренней энергии бинарного твердого рас-твора в приближении регулярного раствора. Опишите допущения при-ближения регулярного раствора. Введите понятие энергии смешения, укажите возможности определения знака и величины энергии смешения.</p> <p>3. Укажите приближения в анализе упорядочения по Горскому-Брэггу-Вильямсу, объясните ход вывода выражения для изменения свободной энергии при разупорядочении эквивалентного сплава АВ, упорядоченно-го по типу В2, и проанализируйте его (дайте графическую интерперета-цию):<br/> <math display="block">\square F(\square) = (Nu_0/8)(1-\square^2) + (1/2)kNT[(1+\square)\ln(1+\square) + (1-\square)\ln(1-\square)] - \square^2 \ln 2</math></p> <p>4. Определите содержание компонентов в твердом растворе Al в Ni. ес-ли его период решетки составляет <math>a = 3.601 \text{ \AA}</math> *</p> <p>5. Запишите аналитические выражения для зависимостей числа атомов в элементарной ячейке твердого раствора замещения В в А (n, nA, nB) и периода решетки a от концентрации растворяемого элемента В. Опиши-те входящие в эти выражения символы</p> <p>6. Запишите аналитические выражения для зависимостей числа атомов в элементарной ячейке твердого раствора внедрения В в А (n, nA, nB) и пе-риода решетки a от концентрации растворяемого элемента В. Опишите входящие в эти выражения символы</p> <p>7. Приведите графическую зависимость числа атомов в элементарной ячей-ке твердого раствора вычитания В в А (n, nA, nB) и периода решетки a от концентрации растворяемого элемента В. Опишите входящие в эти выражения символы</p> <p>8. Исходя из известных характеристик компонентов бинарной системы Cu-Zn (положение в таблице Менделеева, атомный радиус, электроотрица-тельность, кристаллическая структура) обсудить возможность образова-ния твердых растворов на основе компонентов, спрогнозировать протя-женность концентрационных областей и тип твердого раствора.*</p> <p>9. Опишите основные сверхструктуры на основе ГЦК решетки. Определит-е возможность фазового перехода II рода при образовании упорядо-ченного твердого раствора типа Cu3Au на основе ГЦК решетки (ответ должен включать аргументацию). *</p> <p>10. Выбрать звезду векторов обратной решетки и определить возмж-ность фазового перехода II рода при упорядочении по типа CuPt*</p> <p>11. Определить атомные объемы (Vat) для Fe в модификации <math>\square</math> и <math>\square</math>, ис-пользуя значения периодов решетки. Обсудить полученные значения.*</p> <p>12. Указать знак энергии смешения Au-Ni по виду диаграммы состоя-ния*</p> <p>13. Указать знак энергии смешения Fe-Mo по виду диаграммы состоя-ния*</p> <p>14. На схеме диаграммы фазового равновесия показать для сверхструк-туры типа АВ реакцию упорядочения, имея в виду принципиальную возможность фазового перехода второго рода и область концентраций, включающих наряду со сплавами, близкими к стехиометрическому со-ставу, сплавы существенно нестехиометрические</p> <p>15. Опишите два основных типа химического ближнего порядка в метал-лических системах, условия их образования и способы исследования. Приведите схематически температурную</p> |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>зависимости степени дальнего и ближнего порядка для случая <math>\square</math> и <math>\square &lt; 0</math>.</p> <p>16. Указать приближения в анализе упорядочения по Горскому-Брэггу-Вильямсу, объяснить ход вывода выражения для изменения внутренней энергии при разупорядочении эквиатомного сплава АВ, упорядоченно-го по типу В2, и проанализировать его:<br/> <math display="block">\square U(\square) = (Nu_0/8)(1 - \square^2)</math> Показать графически зависимости <math>\square</math> и <math>\sigma</math> от температуры (в случае фазового превращения II рода)..</p> <p>17. Приведите схематически зависимость степени дальнего порядка от температуры в случае упорядочения, протекающего как фазовый пере-ход I и II рода. В чем отличия атомного механизма упорядочения, протекающего, соответственно, как фазовый переход I и II рода?</p> <p>18. Опишите фазы, образование которых определяется фактором электрон-ной концентрации. Приведите примеры.</p> <p>19. Опишите фазы, образование которых определяется размерным фак-тором. Приведите примеры</p> <p>20. Исходя из известных характеристик компонентов бинарной системы Co-W (положение в таблице Менделеева, атомные радиусы) обсудить возможность образования промежуточных фаз: дать обоснование для прогноза и краткую кристаллохимическую характеристику одного, двух типов фаз, которые наиболее вероятны в данной системе.*</p> <p>21. Выбрать способ выражения электронной концентрации и привести её численное значение в ряду фаз .....</p> <p>22. Опишите общие и особенные черты кристаллической структуры раз-личных модификаций фаз Лавеса. Каковы возможные причины форми-рования той или иной модификации фазы Лавеса?</p> <p>23. Назовите тип промежуточной фазы и опишите структурный тип (его ведущего представителя и символ Пирсона) для Fe6Mo7. Приведите условия образования промежуточных фаз данного типа, используя по-ложение компонентов в периодической системе Менделеева и значения атомных радиусов. Приведите ещё 1-2 примера фаз данного типа.</p> <p>24. Обоснуйте рациональные способы оценки электронной концентра-ции в различных промежуточных фазах. Какое значение при этом имеют тип промежуточной фазы и особенности её компонентов (нормальные металлы, переходные металлы, элементы В-групп)?</p> <p>25. Опишите основные характеристики атомной структуры и дайте крат-кое определение тела с кристаллической (квазикристаллической, аморф-ной, нанокристаллической) структурой. Как будет выглядеть рентгено-грамма данного тела?</p> <p>26. Приведите графики функций <math>N(r)</math> и <math>G(r)</math>, характеризующих радиаль-ное распределение атомов в аморфных веществах, и опишите предель-ные значения этих функций при <math>r \square \square</math></p> <p>27. Какие факторы способствуют аморфизации сплава?</p> <p>28. Провести анализ уравнения Колмогорова-Аврами.</p> <p>29. Через какое время закристаллизуется <math>n</math> % жидкого металла, если при данном переохлаждении линейная скорость роста кристаллов равна <math>0.5 \text{ мм.с}^{-1}</math>, а скорость зародышеобразования <math>10^3 \text{ с}^{-1} \text{ мм}^{-3}</math>.*</p> <p>30. Оцените число атомов в критическом зародыше, возникающем в процес-се гомогенной кристаллизации Pt (Fe, Al) при переохлаждении <math>\square T/T_0 = 0.05</math> и <math>0.2</math>. Удельную теплоту плавления считать равной <math>Q = \kappa \text{ Дж/см}^3</math>, поверхностную энергию <math>\square = \text{Дж/см}^2</math>. Сделайте вывод о возмож-ности формирования зародышей в зависимости от переохлаждения*</p> <p>31. В каком случае следует ожидать образование кристаллов с правильной огранкой ?</p> <p>32. При каких условиях в сплаве заданного состава кристаллизация мо-жет идти без изменения химического состава. Приведите термодинами-ческое обоснование.</p> <p>33. Объяснить необходимость переохлаждения при затвердевании</p> |
|--|--|---|

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>рас-плава как фазового перехода I рода. В каком случае требуется большее переохлаждение :</p> <p>а) для реализации гомогенной кристаллизации;</p> <p>б) для реализации гетерогенной кристаллизации.</p> <p>Дайте объяснение.</p> <p>34. Опишите структуру атомно-шероховатой (атомно-гладкой) поверх-ности.</p> <p>35. Сформулируйте идею эксперимента, показавшего возможность гомо-генного зарождения при кристаллизации (по Тарнбаллу)</p> <p>36. Какая из двух фаз, образующих эвтектику, выполняет роль “веду-щей”, в чем состоит её особенность?</p> <p>37. Что такое мартенсит? Назвать 3-4 примера протекания мартенситно-го превращения в металлах и сплавах. Опишите его основные кинетиче-ские и структурные особенности.</p> <p>38. Выбрать ячейку исходной фазы и записать в матричной форме де-формацию Бейна для <math>\square\square\square</math> мартенситного превращения в стали. Назвать экспериментальные факты, подтверждающие схему Бейна и фак-ты, противоречащие ей.</p> <p>39. Из каких компонентов состоит деформация превращенного объема при мартенситном превращении в стали? Что такое «аккомодационная» деформация?</p> <p>40. Запишите возможные ориентационные соотношения для <math>\square</math>-Ti и <math>\square</math>- Ti, а также <math>\square</math>-Ti и <math>\square</math>-Ti, учитывая характеристики решеток фаз.. В общей форме опишите вероятные механизмы перестройки решетки <math>\square</math>-Ti при мартенситном превращении в <math>\square</math>- Ti и <math>\square</math>-Ti.</p> <p>41. В чем различие диффузионного и бездиффузионного фазовых пре-вращений?</p> <p>42. Опишите изменение свободной энергии при фазовом превращении в твердом состоянии (<math>\square</math>F). Обсудите влияние типа межфазных границ на <math>\square</math>F. Оцените размер частиц, принимающих пластинчатую форму, учиты-вая поверхностную энергию <math>\square \square</math> 10-2 Дж/м<sup>2</sup>, модуль упругости <math>E\square</math> 1011 Н/м<sup>2</sup> и степень несоответствия решеток <math>\square\square</math>10-2.*</p> <p>43. Опишите все стадии формирования выделений при распаде твердого раствора. Укажите зависимость размера частиц на каждой стадии от времени (по Любову).</p> <p>44. Объясните явление коллоидного равновесия. В чем состоит явление коалесценции?</p> <p>45. Используя схему изменения свободной энергии от концентрации твердого раствора с учетом возможного расслоения и образования про-межуточных фаз (метастабильной и стабильной), показать связь числа стадий распада твердого раствора с его пересыщением.</p> <p>46. Приведите схему изменения концентрации компонента для случая спиnodального (ячеистого, непрерывного) распада. Каким образом бу-дет меняться зависимость <math>c(x)</math> с ростом времени?</p> <p>47. Объясните термины «однофазный» и «двухфазный» распад. Показа-йте схему изменения содержания компонентов при непрерывном (ячей-стом) распаде.*</p> <p>48. В чем проявляется влияние вакансий и дислокаций на процесс распа-да пересыщенного твердого раствора?</p> <p>49. Проведите анализ концентрационной зависимости коэффициента диффузии в реальных твердых растворах в случае бинарной системы, характеризующейся энергией смешения <math>\square u &lt; 0</math>. Использовать представ-ление о термодинамическом множителе коэффициента диффузии. Как измениться коэффициент диффузии при атомном упорядочении?</p> <p>50. Проведите анализ концентрационной зависимости коэффициента диффузии в реальных твердых растворах в случае бинарной системы, характеризующейся энергией смешения <math>\square u &gt; 0</math>. Использовать представ-ление о термодинамическом множителе коэффициента диффузии. Ука-зать особенности фазовых превращений и микроструктуры при распаде твердого раствора в спиnodальной области.</p> <p>51. Приведите диаграмму состояния с расслоением, указав области мета-стабильного и лабильного состояний твердого раствора, а также поло-жение когерентной спинодали. Чем объясняется различие в положении химической и когерентной спинодали?</p> |
|--|--|--|

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <p>52. Укажите последовательность термических обработок для наблюдения явления «возврата при старении» и назовите возможные причины этого явления.</p> <p>53. Опишите основные явления при отпуске стали.</p> <p>54. Назовите возможные причины аномально быстрой диффузии в сплавах.</p> <p>55. Какие условия в наибольшей степени способствуют аморфизации сплавов (при закалке из жидкости и при твердофазных превращениях)?</p> <p>56. Назовите основные типы структурообразования при кристаллизации аморфных металлических сплавов и выберите из них тип, благоприятный для формирования структуры магнитомягкого материала на основе системы Fe-Si-B:</p> <p>57. Назовите возможные структурные изменения в сплавах при экстремальных воздействиях на него (закалка из жидкости, облучение, механо-активация и пр.)</p> <p>58. При диффузионном насыщении (<math>T_H = 1000.0C</math>) Zn в Cu на поверхности достигнута концентрация Zn 48 ат.%. Покажите схематически распределение углерода по глубине слоя, учитывая вид диаграммы состояния Cu-Zn (см. учебное пособие № 1573) и то, что коэффициенты диффузии в фазах приблизительно одинаковы.</p> |
|--|--|--|--|

### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

| Код работы | Название работы                         | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы   |
|------------|---|------------------------------------|---|
| P1         | Домашнее задание №1: Твердые растворы   | ОПК-1-31;ПК-1-31                   | Оценка растворимости компонентов. Закрепление знаний о сверхструктурах. |
| P2         | Домашнее задание №2: Промежуточные фазы | ОПК-1-31;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-У1  | Прогноз образования фаз в заданной системе                              |

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

В рамках курса предусмотрен экзамен.

Пример экзаменационного билета приведен в приложении данной программе.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Шкала оценивания знаний обучающихся на экзамене:

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

| Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|---------------------|----------|------------|-------------------|
|---------------------|----------|------------|-------------------|

|      | Авторы, составители               | Заглавие   | Библиотека             | Издательство, год   |
|------|-----------------------------------|--|------------------------|---------------------|
| Л1.1 | Ягодкин Ю. Д.,<br>Свиридова Т. А. | Атомное строение фаз.<br>Кристаллохимия твердых<br>растворов и промежуточных<br>фаз. Структура аморфных,<br>квазикристаллических и<br>нанокристаллических<br>материалов: курс лекций для<br>студ. спец. - 'Физика<br>металлов' и 'Наноматериалы' | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2007     |
| Л1.2 | Уманский Я. С.,<br>Скаков Ю. А.   | Физика металлов. Атомное<br>строение металлов и сплавов:<br>учебник для студ. вузов спец.<br>-Физика металлов  | Библиотека МИСиС       | М.: Атомиздат, 1978 |

### 6.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители   | Заглавие  | Библиотека             | Издательство, год       |
|------|---|---|------------------------|-------------------------|
| Л2.1 | Юм-Розери Ю.  | Введение в физическое<br>металловедение: монография   | Электронная библиотека | Б.м.: Metallurgia, 1965 |
| Л2.2 | Уманский Я. С.,<br>Скаков Ю. А.,<br>Иванов А. Н.,<br>Расторгуев Л. Н. | Кристаллография,<br>рентгенография и<br>электронная микроскопия:<br>Учебник для вузов                                       | Библиотека МИСиС       | М.: Metallurgia, 1982   |
| Л2.3 | Ливанов Д. В.   | Физика металлов: учебник<br>для студ. вузов спец.<br>'Металловедение и терм.<br>обработ. металлов' и напр.<br>'Металлургия' | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2006  |
| Л2.4 | Скаков Ю. А.,<br>Чириков Н. В.,<br>Ягодкин Ю. Д.,<br>Свиридова Т. А.  | Физика конденсированного<br>состояния: Справочные<br>материалы для студ. спец.<br>0708, 0709, 510.403, 510411               | Библиотека МИСиС       | М.: Учеба, 2000         |

### 6.1.3. Методические разработки

|      | Авторы, составители  | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год |
|------|--|--|------------------|-------------------|
| Л3.1 | Дьяконова Н. П.,<br>Расторгуев Л. Н.,<br>Скаков Ю. А., Скаков<br>Ю. А. | Кристаллография,<br>рентгенография, электронная<br>микроскопия и физика<br>металлов: Разд.:<br>Кристаллохимия, атомно-<br>кристаллическая структура<br>фаз металлических систем:<br>Учеб. пособие для практ.<br>занятий для студ. спец. 11.04,<br>11.05, 11.07 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1988   |
| Л3.2 | Скаков Ю. А.   | Физика конденсированных<br>сред: Разд.: Атомное<br>строение металлов и сплавов:<br>Учеб. пособие для практ.<br>занятий студ. спец. 07090.00<br>и направл. 5104.03 и 5104.11  | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001   |

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

|    |   |   |
|----|---|---|
| Э1 | The Cambridge Structural Database (CSD) | <a href="https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/">https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/</a> |
| Э2 | Springermaterials                       | <a href="https://materials.springer.com/">https://materials.springer.com/</a>   |

### 6.3 Перечень программного обеспечения

|     |                          |
|-----|--------------------------|
| П.1 | ESET NOD32 Antivirus     |
| П.2 | Win Pro 10 32-bit/64-bit |
| П.3 | Microsoft Office         |
| П.4 | LMS Canvas               |
| П.5 | MS Teams                 |

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

|      |  |
|------|--|
| И.1  | Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:  |
| И.2  | — Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>  |
| И.3  | — Полнотекстовые деловые публикации информагентств и прессы по 53 отраслям <a href="https://polpred.com/news">https://polpred.com/news</a> |
| И.4  | Иностраные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):  |
| И.5  | — аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>    |
| И.6  | — аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>                            |
| И.7  | — наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>                           |
| И.8  | — научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>                        |
| И.9  | Справочно-правовая система Консультант плюс <a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>                              |
| И.10 | Справочно-правовая система <a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a>   |

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд.                               | Назначение        | Оснащение  |
|------------------------------------|-------------------|--|
| Б-413                              | Учебная аудитория | проектор; мультимедийная доска; маркерная доска, документ-камера; компьютер преподавателя; компьютерный класс на 14 компьютеров, пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели  |
| Б-416                              | Учебная аудитория | проектор; экран; маркерная доска; компьютер преподавателя; микроскоп Carl Zeiss Axio Scope A1, компьютерный класс на 12 компьютеров, комплект учебной мебели   |
| Читальный зал №3 (Б)               |                   | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |
| Читальный зал №4 (Б)               |                   | комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета  |
| Читальный зал электронных ресурсов |                   | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Специализированные лаборатории и классы, основные установки и стенды  
 Мультимедийная аудитория с возможностью показа видеоматериалов с аудиосопровождением. Выбирается в зависимости от количества студентов, изучающих в текущем семестре данную дисциплину;  
 Учебный комплекс по структурной диагностике и материаловедческой экспертизе неорганических материалов методами рентгеновской дифракции и электронной микроскопии - Б-413. Набор демонстрационных моделей кристаллических решеток.